



TITLE:

A Novel Catadioptric Ray-Pixel Camera Model and its Application to 3D Reconstruction(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Kawahara, Ryo

CITATION:

Kawahara, Ryo. A Novel Catadioptric Ray-Pixel Camera Model and its Application to 3D Reconstruction. 京都大学, 2019, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21910>

RIGHT:

博士学位論文調査報告書

論文題目 A Novel Catadioptric Ray-Pixel Camera Model and its
Application to 3D Reconstruction
(反射屈折撮像系の新たなカメラモデルと 3 次元形状復元への応
用)

申請者氏名 川原 僚

最終学歴 平成 2 7 年 3 月
京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻修士課程 修了
平成 3 1 年 3 月
京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻博士後期課程
研究指導認定見込み

学識確認 平成 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
(調査主査) 講 師 延原 章平

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教 授 西野 恒

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
准教授 飯山 将晃

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	川原 僚
論文題目	A Novel Catadioptric Ray-Pixel Camera Model and its Application to 3D Reconstruction (反射屈折撮像系の新たなカメラモデルと3次元形状復元への応用)		
(論文内容の要旨)			
<p>被写体を相異なる視点から撮影した多視点画像を入力とする3次元形状復元においては、各カメラにおける撮像過程を透視投影カメラとしてモデル化するアプローチが一般的とされているが、被写体が微小物体であったり水中に存在する場合などにおいては物理的に複数台のカメラを備えた多視点透視投影カメラ環境を構築することが困難であることが知られている。</p> <p>本論文は通常の透視投影カメラに屈折反射光学系を組み合わせた光学系と、それに対応する新たなカメラモデル、およびそのモデルパラメータを較正する手法を提案するとともに水中物体や微小物体の3次元形状復元を実現する手法をまとめたものであり、7章から構成される。</p> <p>第1章では、人物や日常環境における従来の3次元形状復元対象ではなく、水中物体や微小物体などを撮影するためには、通常の透視投影カメラではなく反射屈折光学系を用いることによってカメラ配置などの物理的制約を解決することが可能となることを述べるとともに、①そのような反射屈折光学系における光線空間を記述するためには透視投影カメラモデルではなく光線と画素の対応を記録したray-pixelカメラモデルが適していること、②光線空間が持つ軸対称性を利用することによって光線と画素の関係が簡潔に記述できること、③さらに軸対称性を利用した記述を用いることで解析的には解くことができない3次元空間から2次元画像座標への投影計算を効率的に行うことが可能となることを提案している。</p> <p>第2章では、従来の反射屈折光学系を用いた3次元形状復元手法として、球面レンズを多数のカメラによって共有される超広角レンズとして用いた手法、複合鏡によって高次反射像を観測することで1台のカメラによって仮想的に多視点撮影を実現した手法などを概観するとともに、本研究の位置づけを述べている。特に球面レンズには広角レンズとしての性質だけではなく拡大鏡としての側面があり、さらに複合鏡と組み合わせることによって被写体を取り囲むような仮想カメラの配置が実現可能となることを指摘している。</p> <p>第3章では、水中撮影を想定した平行平面屈折層を備えた撮像系において、カメラの各画素に投影される水中での光線群が、平面の法線に対して軸対称性を備えることを指摘するとともに、その軸対称性を活用した画素依存仮想焦点カメラモデルを提案している。また提案したモデルを用いて、3次元空間から2次元画像座標への投影に要する計算量を大幅に削減するアルゴリズムを新たに提案するとともに、平行平面屈折層を備えたプロジェクタについても同様のモデルで記述可能であることを示している。</p> <p>第4章では、微小物体を単一の透視投影カメラを用いて仮想的に多視点撮影することを目的として、teleidoscopic imaging systemと呼ぶ球面レンズと複合鏡を組み合わせた反射屈折光学系を提案するとともに、その光学系における物体側光線と画素との関係が軸対称性を持つこと、さらにその関係をray-pixelカメラとしてモデル化した際に、効率的な3次元空間から2次元画像座標への投影計算を行うことができることを指摘している。さらに複合鏡によって生成される仮想多視点カメラ群が実現する被写界深度の解析を通して、元の透視投影カメラと比較して後方被写界深度が大幅に増大し、微小物体の多視点撮影に際して被写体をカメラ間で共通の被写界深度内に収めることが現実的に可能であることを明らかにしている。</p> <p>第5章では、前章で提案したteleidoscopic imaging systemのパラメータ較正問題</p>			

が、①球面レンズパラメータを推定するためには複合鏡パラメータが必要であり、②複合鏡パラメータを推定するためには鏡面反射の関係にある対応点が必要であり、③鏡面反射の関係にある対応点を画像中で推定するためには屈折の影響を取り除くために球面レンズのパラメータが必要である、という鶏と卵の構造を持った問題であることを示すとともに、特に球面レンズの中心だけは屈折の影響を受けない特異点であり、そのため球面レンズ中心の投影像を画像中で同定できれば上記の問題をすべて解くことができることを指摘し、球面レンズ中心の投影位置を推定するアルゴリズムを提案している。

第6章では、第4章で提案した反射屈折光学系を通した三角測量の線形解法を導出するとともに、レーザプロジェクタを用いたパターン光投影を組み合わせた3次元形状計測アルゴリズムを提案し、実画像を用いた3次元形状計測を通じて微小物体の仮想多視点撮影と3次元形状復元が実現可能であることを実証している。

第7章では、本論文の目的と提案手法のまとめを行うとともに、今後の課題と応用について議論をしている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し

審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

被写体を相異なる視点から撮影した多視点画像を入力とする3次元形状復元においては、各カメラにおける撮像過程を透視投影カメラとしてモデル化するアプローチが一般的とされているが、被写体が微小物体であったり水中に存在する場合などにおいては物理的に複数台のカメラを備えた多視点透視投影カメラ環境を構築することが困難であることが知られている。

本論文は通常の透視投影カメラに屈折反射光学系を組み合わせた光学系と、それに対応する新たなカメラモデル、およびそのモデルパラメータを較正する手法を提案するとともに水中物体や微小物体の3次元形状復元を実現する手法をまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

(1) 平行平面屈折層を備えた撮像系が構成する光線空間が、平面屈折層の法線に対して軸対称性を持つことに着目した新たなカメラモデルを考案するとともに、そのモデルによって3次元空間から2次元画像座標への効率的な投影計算アルゴリズムを導出した。また同モデルがプロジェクタに対しても適用可能であることを多視点カメラ・プロジェクタシステムによる水中物体3次元形状計測を通じて実証した。

(2) 球面レンズと複合鏡を備えたteleidoscopic imaging systemと呼ぶ反射屈折光学系が構成する光線空間が、球面レンズの中心とカメラの投影中心を結ぶ軸に対して対称性を持つことに着目した新たなカメラモデルを考案するとともに、そのモデルによって3次元空間から2次元画像座標への効率的な投影計算アルゴリズムを導出した。

(3) Teleidoscopic imaging systemのパラメータを較正する問題が、球面レンズパラメータの推定、複合鏡パラメータの推定、鏡面反射の関係にある対応点の推定という3つの部分問題が循環依存する構造となっていることを示すと同時に、球面レンズ中心の投影像という特異点を用いることでこの問題を解くアルゴリズムを考案した。

(4) Teleidoscopic imaging systemによって被写界深度が増大することを解析的に示すと同時に、鏡像間の対応点を用いた三角測量の線形解法を導出した。また実画像を用いた3次元形状計測を通じて微小物体の仮想多視点撮影と3次元形状復元が実現可能であることを実証した。

以上本論文は、反射屈折光学系における軸対称性に着目したカメラモデルとそれを活用した効率的な投影計算アルゴリズムおよびキャリブレーション法を、平行平面屈折層を備えた光学系および球面レンズと複合鏡を備えた光学系にたいして考案し、実画像を用いた実験によってその有効性を実証したもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成31年2月19日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。
更に、試問の結果の要旨(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」)を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。
要旨公開可能日： 年 月 日以降